

氏 名	田尻 智紀
学 位 の 種 類	博士（工学）
学 位 記 番 号	第 5957 号
学位授与年月日	平成 25 年 9 月 26 日
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 1 項
学 位 論 文 名	段差や傾斜を含む立体空間で行動可能な自律型移動ロボットの開発
論文審査委員	主 査 准教授 高田 洋吾      副主査 教 授 鳥生 隆 副主査 教 授 高橋 秀也      副主査 教 授 川合 忠雄

## 論 文 内 容 の 要 旨

本論文は、段差や傾斜を含む立体空間において、定められたゴール地点までの自律移動の実現に必要な、ロボットの安定化制御や立体地図作成、経路作成、自己位置推定、移動制御についてまとめた論文である。

緒言では、近年研究が盛んな自律型移動ロボットについて、脚型移動ロボットと車輪型移動ロボットの二種類に分類し、それぞれの研究例と問題点、課題についてまとめた。

第 2 章では、脚型移動ロボットとしてヒューマノイドロボットを対象に、歩行を安定化させる手法を示した。ヒューマノイドロボットを歩行させる時に転倒の原因となる、床面の微小な段差や傾斜に対して安定に歩行できる安定化制御系を考案し、その有効性を示した。

第 3 章では、前章の安定化制御系では対処が困難な大きな段差や傾斜、または街路樹や石垣、階段など立体的な障害物に対して、その空間の立体的な地図を作成することで対応が可能であることを示した。安価なレーザレンジセンサとサーボモータを組み合わせて、簡単に作製できる測定装置を用いて、実環境の立体占有格子地図を作成できることを示した。

第 4 章では、前章で作成した立体地図を利用して、スタート地点とゴール地点が与えられた時に、移動ロボットに移動できる経路を探索させるために強化学習を適用し、その強化学習によって、高さ方向の移動の変化が緩やかな経路が採用されて、段差を避けて移動することのできる経路が作成できることを示した。また、車輪型移動ロボットである RoboCar を使用して、スタート地点からゴール地点まで作成した経路に沿って走行させることができることを示した。

第 5 章では、前章で実験した RoboCar による移動制御について、精度の高い自己位置推定法であるパーティクルフィルタをロボットの移動制御に適用し、その有効性を示した。また、障害物を回避しつつ目的地点までロボットを誘導するために、Virtual Force Field 法を利用した。有効性の検証はシミュレーションで行った。ロボットは、自己位置推定を行いながら、障害物を回避しつつゴール地点に向かい、与えられたスタート地点からゴール地点まで移動できることを示した。

以上、本論文では、段差や傾斜を含む立体空間で、階段や樹の枝、石垣などの立体的な障害物に対して適切に対処し行動できる自律型移動ロボットの開発を試みた。微小な段差や傾斜に対しては安定化制御系を適用することで、対応できることを示した。そして、大きな段差や傾斜、障害物に対しては、立体占有格子地図を作成してロボットに持たせることで、強化学習によってロボット自身に移動可能な経路を探索させ、目的地点まで移動させることができ、立体地図を精度の良い自己位置推定手法と併用することで、地図上に記述されている障害物に対して適切な回避行動を行わせつつ目的地点まで移動させることが可能であることを示した。

## 論 文 審 査 の 結 果 の 要 旨

現在、日本は超高齢社会を迎えて、ロボット技術が今まで高齢者が支えてきた産業労働力を補い、高齢者の福祉や介護、道案内等の分野で活躍することに期待が寄せられている。ロボットの移動機構は脚型と車両型に大きく分かれる。脚型ロボットは、使用者に興味や親近感を与えるため、生活環境を対象として研究されることが多く、一方、車両型ロボットは、移動能力が高いため屋外活動を対象として研究されることが多い。使用環境に応じて、ロボットの適した移動機構は異なるが、障害物への対処が必要であることは共通する。目的地点までの段差や傾斜を自律的に回避することが重要であ

る。加えて、二足歩行ロボットでは、安定した歩行を実現する制御も必要である。

本論文では、まず、ロボットの社会的需要、脚型ロボットと車両型ロボットの個々の特徴、自律型移動ロボットの課題が述べられている。また、ヒューマノイドロボットを対象として、位置型インピーダンス制御と上体部の姿勢制御、線形倒立振子モードによる歩行パターン生成に基づいて、未知段差を含む路面を安定して歩破できる制御方式を考案し、その有効性を示している。また、ロボットの移動を阻害する物体を明確化するために、レーザレンジセンサとサーボモータを組み合わせた立体地図作成装置によって、様々な路面の立体占有格子地図を作成して、車両型ロボットの進入可能領域を区分け出来ている。また、作成した立体占有格子地図に基づいて、目的地点に車両型ロボットが到達可能な経路を強化学習によって作り出し、その作成経路に基づいて、車両型ロボットが目的地点まで自律走行できることを示している。また、立体占有格子地図とパーティクルフィルタによる自己位置推定を併用することで、ロボットの障害物回避能力が飛躍的に向上することを示している。

以上のように本論文では、段差や傾斜を含む路面において、障害物への対処を行いながら目的地点までロボットを到達させる方法を提供しており、この分野の技術の進展に大きく貢献している。よって、本論文の著者は博士(工学)の学位を受けるに値すると認める。